

胶东—苏北石榴石二辉橄榄 岩形成条件及年代*

白文吉 胡旭峰

周美付

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

(加拿大萨斯堪彻温大学, 地质系)

主题词 石榴石二辉橄榄岩 山东东部 江苏北部

提 要 在胶东—苏北地区, 由石榴石二辉橄榄岩、尖晶石二辉橄榄岩、石榴石辉石岩、榴辉岩、斜辉辉橄岩和纯橄岩组成的杂岩成群和成带分布, 延长 590 km。该岩带越过郯庐断裂带延伸至大别山, 全长约 1200 km。岩带内石榴石二辉橄榄岩与尖晶石橄橄岩伴生, 组成较大的岩块, 并且与榴辉岩伴生, 曾被作者确定为一种有层序的岩套。石榴石二辉橄榄岩的 Sm-Nd 同位素年龄为 925 ± 53 Ma, 矿物地质温度计和压力计表明其形成于 115—160 km 深部, 温度为 800—1371 °C。该石榴石二辉橄榄岩平衡温度和压力符合大陆地温线, 而不同于中国东部沿海地区玄武岩中包体石榴石二辉橄榄岩, 后者的平衡温度压力符合于大洋地温线。

1 石榴石二辉橄榄岩的地质特征

胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩出露于胶东的荣城、日照、莒南和苏北的东海一线, 呈北东—南西向带状分布, 并越过郯庐断裂向大别山方向延伸, 断续长达 1200 km。石榴石二辉橄榄岩与石榴石辉石岩、尖晶石二辉橄榄岩、橄橄岩、纯橄岩一起组成杂岩块。杂岩块的下部为橄橄岩类 (间夹石榴石二辉橄榄岩、纯橄岩), 上部为石榴石辉石岩和榴辉岩, 围岩为区域片麻岩和麻粒岩。杂岩曾被确定为有层序的岩套^[1]。这些杂岩块体基本呈混杂岩状态产出。榴辉岩、石榴石二辉橄榄岩和橄橄岩的产出特点, 与挪威的可以对比^[2]。

对于这种岩体规模的石榴石二辉橄榄岩的岩石学, 矿物学, 地球化学, 形成条件和地质构造意义的研究, 目前尚嫌不足。

2 石榴石二辉橄榄岩岩石化学与矿物化学

胶东—苏北地区石榴石二辉橄榄岩化学成分与中国东部玄武岩和金伯利岩包体石榴石二辉橄榄岩相似, 主要特点是相对于原始地幔岩亏损易熔组分: Al_2O_3 、CaO、 Na_2O 和 TiO_2 , 而相对富集 MgO (表 1)。在 MgO—CaO— Al_2O_3 三组分图解上, 本区石榴石二辉橄榄岩与世界各地的完全相似。

* 本文为国家自然科学基金资助项目的部分研究内容。
本文於 1992 年 1 月收到, 1992 年 3 月改回。

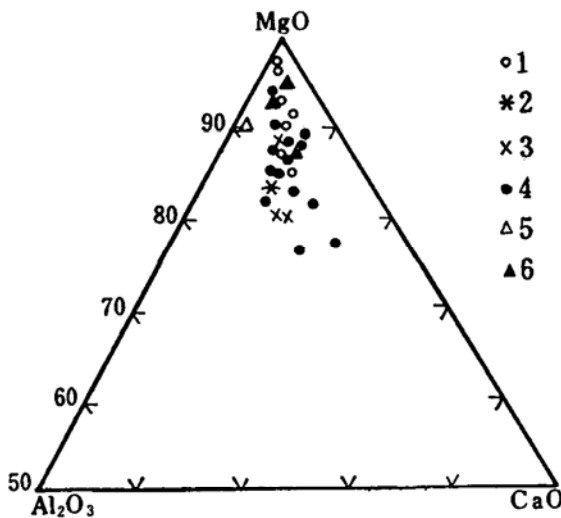


图 1 胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩 CaO—MgO—Al₂O₃ 图解

Fig. 1 CaO—MgO—Al₂O₃ diagram of garnet lherzolites from Eastern Shandong and Northern Jiangsu

1—胶东—苏北；2—原始地幔岩 (Ringwood, 1975)；3, 4—中国东部玄武岩中包体 (刘若新等, 1985)⁽³⁾；5—辽宁金伯利岩中包体⁽¹⁾；6—国外金伯利岩中包体⁽⁴⁾

表 1 胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩化学成分^②

Table 1 The chemical compositions of garnet lherzolites from Eastern Shandong and Northern Jiangsu

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	NiO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1	44.61	0.11	3.33	0.36	1.87	7.46	0.27	0.17	38.54	3.16	0.07	0.01	0.03
2	45.13	0.03	1.37	0.41	1.66	6.62	0.21	0.39	43.65	0.43	0.07	0.01	0.01
3	45.55	0.03	1.10	0.45	1.62	6.49	0.22	0.15	43.96	0.15	0.25	0.01	0.01
4	44.33	0.07	2.18	0.35	1.86	7.45	0.28	0.17	41.11	2.09	0.07	0.01	0.03
5	45.01	0.03	2.03	0.38	1.66	6.63	0.27	0.16	42.60	1.18	0.02	0.01	0.02
6	45.84	0.08	3.15	0.37	1.96	7.82	0.27	0.18	37.64	2.46	0.20	0.01	0.01
7	45.01	0.20	4.59	0.30		7.88	0.10	0.20	38.02	3.09	0.40	0.02	0.02

7—原始地幔岩 (Ringwood, 1975)。

胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩的单斜辉石为透辉石，少量次透辉石，其 Al₂O₃ 含量 (0.45%—1.53%) 低于中国东部玄武岩包体石榴石二辉橄榄岩⁽³⁾ (4.88%—6.76%) 和莱索托金伯利岩包体的石榴石二辉橄榄岩 (1.39%—3.16%)⁽⁵⁾。该石榴石二辉橄榄岩的石榴石为镁铝榴石，MgO 含量很高，在 Mg/Mg+Fe+Mn—Ca 图上，落于幔成区；其中斜方辉石的 En 含量为 90.8—92.5，为 MgO 含量高的顽火辉石类；橄榄石为镁橄榄石，Fo=90.7—92.5。总之，胶东—苏北地区石榴石二辉橄榄岩的组成矿物均以高 MgO 含量为特征 (表 2)。

3 石榴石二辉橄榄岩稀土元素地球化学

胶东—苏北地区石榴石二辉橄榄岩的稀土元素总量 (ΣREE) 为 2.41—14.23 (ppm) (表 3)。轻、重稀土元素分馏不明显，铕异常较弱，δEu=0.74—0.91。蛇纹石化轻微的石榴石二辉橄榄岩 (DH20) 的 REE 模式更接近于原始地幔岩，轻稀土元素富集 LREE=

① 董振信, 1990, 我国金伯利岩岩石学、矿物学研究, 博士生论文, 第 5 册。

② 叶凯, 1990, 荣城橄榄岩和榴辉岩岩石成因, 硕士生论文。

表 2 胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩矿物化学成分

Table 2 The compositions of minerals from garnet lherzolites from Eastern Shandong and Northern Jiangsu

组 分	编 号	DH 16	DH 20	Yc 3	DH 16	DH 20	Yc 3	DH 20	Yc 3	DH 16	DH 20
		Ga	Ga	Ga	CPx	CPx	CPx	CPx	CPx	Ol	Ol
SiO ₂		42.10	41.90	42.67	55.68	56.07	56.80	58.09	57.79	42.22	41.28
TiO ₂		0.07	0.08	0.11	0.01	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00
P ₂ O ₅		0.19	0.00	0.04	0.00	—	0.02		0.35		
V ₂ O ₅		0.06	—	0.04	0.00	—	0.18		0.03		
Al ₂ O ₃		20.68	21.38	22.43	0.28	1.60	0.17	0.18	0.31	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃		2.89	1.75	1.24	1.41	1.46	0.50	0.00	0.07	0.01	0.03
FeO		11.51	10.83	11.18	2.09	2.57	2.34	5.17	5.98	8.38	8.35
MnO		0.51	0.49	0.67	0.00	0.09	0.09	0.04	0.23	0.04	0.10
MgO		17.39	18.66	17.89	16.12	15.51	16.74	35.69	33.87	49.12	49.81
NiO		0.00	—	0.00	0.00	—	0.04		0.11	0.06	—
CaO		4.69	4.60	4.20	23.65	20.04	23.87	0.08	0.17	0.05	0.00
Na ₂ O		0.00	0.07	0.13	1.08	2.15	0.82	0.00	0.00	0.00	0.00
K ₂ O		0.00	0.00	0.03	0.01	0.02					
总计		100.05	99.76	100.83	100.23	99.51	101.57	99.25	99.09	100.64	99.57

表 3 石榴石二辉橄榄岩 REE 含量 (ppm)

Table 3 Contents of REE of the garnet lherzolites

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
DH 20	2.62	4.91	0.55	1.98	0.53	0.12	0.45	<0.3	0.61	0.14	0.43	<0.10	0.38	<0.10	2.72
Yc 3	0.23	0.55	0.08	0.43	0.13	0.05	0.22	0.03	0.27	0.06	0.14	0.02	0.17	0.08	1.60
Y 2	0.46	1.19		1.02	0.26	0.10							0.31	0.04	
Cp 2	0.57			0.95	0.18	0.08		0.06					0.31	0.036	
MD 4	1.4	3.9	0.32	1.3	0.33	0.10	0.43	<0.1	0.43	0.11	0.33	<0.05	0.33	0.77	
HT 28	2.4	5.4	<0.2	3.1	1.2	0.48	1.8	0.38	2.5	0.57	1.8	0.28	0.6	0.35	
12	0.476	0.94			0.180	0.076							0.41	0.049	
2492	5.17	10.9		5.60	0.747	0.191			0.164				0.095	0.013	
2862	1.35	2.70		1.33	0.198	0.051			0.064				0.018	0.003	
PM	0.63				0.38	0.15							0.42	0.064	

10.72(ppm), 可能与流体交代作用有关。与中国东部玄武岩包体相比, 胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩 REE 丰度略低, HREE 丰度与南非金伯利岩中富集型石榴石二辉橄榄岩^[6] HREE 相同, 它们的 REE 模式基本一致 (图 2)。本区石榴石二辉橄榄岩 Σ REE 接近原始地幔岩 (Jagoutz 等, 1979), 模式曲线与原始地幔岩相似, 因而它是受局部熔化作用很弱的地幔岩, 与南非金伯利岩中亏损型石榴石二辉橄榄岩包体的 REE 模式明显不同^[6], 后者的 HREE 强烈亏损, LREE 富集。

本区石榴石二辉橄榄岩中金云母的出现是交代作用的标志, 董振信(1990)、刘若新(1985)^[3]等都证明了这种富含 LREE 流体对地幔的交代作用。

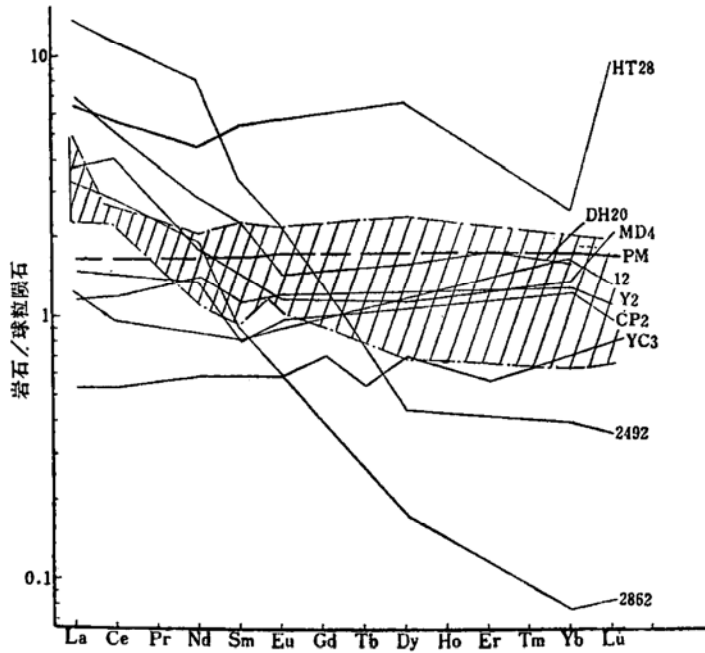


图 2 石榴石二辉橄榄岩的 REE 分配模式图

Fig. 2 REE patterns of garnet lherzolites

DH 20, YC 3—作者资料; Y 2, CP 2—引自叶凯; MD 4, HT 28—中国东部玄武岩中石榴石二辉橄榄岩包体⁽³⁾; 12—中国东部玄武岩中石榴石二辉橄榄岩包体⁽²⁾; 阴影区—南非金伯利岩中富集型石榴石二辉橄榄岩包体⁽⁶⁾; 2862, 2492—南非金伯利岩中亏损型石榴石二辉橄榄岩包体⁽⁶⁾; PM—原始地幔岩 (Jagoutz 等, 1979)

4 石榴石二辉橄榄岩的平衡条件和古地温梯度

应用 Wood-Banno (1973)、Davis-Boyd (1966)、Mercier (1976)、Wood (1974) 的地质温度计和压力计, 估算了本区石榴石二辉橄榄岩的平衡温度及压力, 温度变化于 800—1371℃, 压力变化于 3.5—4.98 GPa, 相当于 115—160 km 的埋深。在 $P-T$ 图上, 本区石榴石二辉橄榄岩位于大陆地温线附近。投点范围与 Montana 金伯利岩中超镁铁捕虏体的基本一致⁽⁸⁾。有些样品温压条件接近于含金刚石二辉橄榄岩的条件 $(46.4 \pm 1.0) \times 10^8 \text{ Pa}$, $1082 \pm 12^\circ \text{C}$ ⁽⁸⁾, 与中国东部沿海玄武岩包体石榴石二辉橄榄岩相比, 有较大区别, 后者的温度、压力⁽⁹⁾ $(1090-1199^\circ \text{C}, (24-25.3) \times 10^8 \text{ Pa})$ 范围符合于大洋地温线(图 3)。

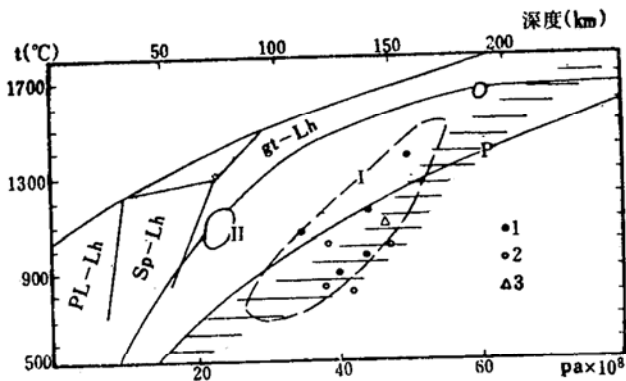


图 3 石榴石二辉橄榄岩 $P-T$ 平衡图

Fig. 3 Diagram of $P-T$ equilibrium for garnet lherzolites

1—作者资料; 2—引自叶凯; 3—含金刚石二辉橄榄岩 BD2125 (Dawson and Smith, 1975); I—Montana 金伯利岩中超镁铁岩捕虏体温压范围⁽⁸⁾; II—中国东部玄武岩中石榴石二辉橄榄岩包体⁽⁹⁾; P—前寒武纪地盾地温线 (Ringwood, 1964); O—大洋地温线 (Clark and Ringwood, 1964)

Toshisuke kawasaki (1987) 指出, 大陆区存在二种古地温梯度, 一类是稳定克拉通区, 地温梯度 6—9℃/km, 如 Lesotho, Finsch, Kimberley, Frank Smith mine, Premier mine, Tanzania 以及 Siberia 等; 另一类为非稳定区, 如 Montana, Namibia, Navaja 等, 地温梯度为 10—14℃/km^[8]。本区石榴石二辉橄榄岩反映的古地温梯度更接近于后者, 为 12.7℃/km。

5 石榴石二辉橄榄岩 Sm-Nd 同位素年龄

选择比较新鲜的江苏东海芝麻坊岩体的钻孔岩心样品, 精选出斜方辉石、单斜辉石和石榴石单矿物, 经 Sm-Nd 同位素测定 (表 4), 得出等时线年龄为 925 ± 53 Ma, 代表了石榴石二辉橄榄岩的结晶年龄, 相当于晚元古代。

表 4 石榴石二辉橄榄岩 Sm-Nd 分析结果
Table 4 Analyses of Sm-Nd for garnet lherzolites

样品号	Sm (ppm)	Nd (ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Sm	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd ± 2σ
DH 20 opx	2.624 × 10 ⁻¹	1.185	0.1139	0.512226 16
DH 20 cpx	9.318 × 10 ⁻¹	4.313	0.1307	0.512223 24
DH 20 Ga	2.284 × 10 ⁻¹	1.478 × 10 ⁻¹	0.9348	0.517180 36

分析者: 地质矿产部地质研究所张宗清等。

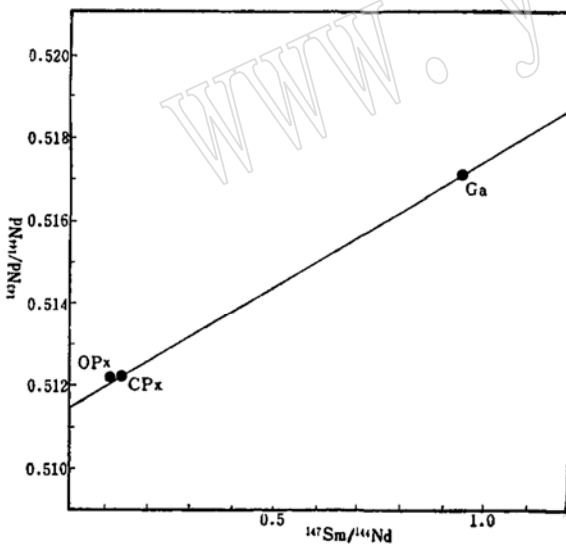


图 4 Sm-Nd 等时线年龄图
Fig. 4 Diagram of age of Sm-Nd isotopic isochron

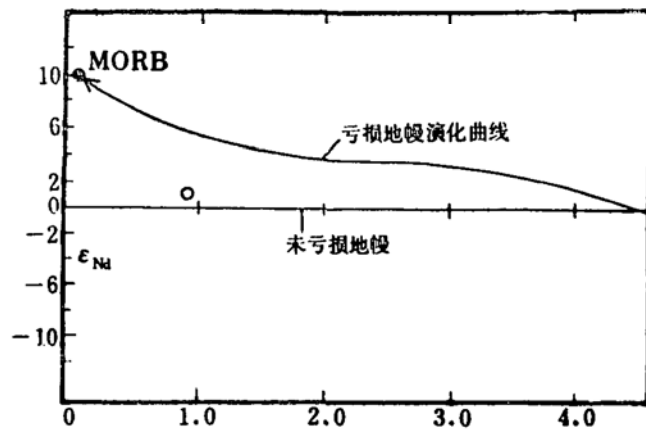


图 5 ε_{Nd}—年龄图 (Jacobsen 和 Wasserburg, 1984)^[10]
Fig. 5 Diagram of ε_{Nd} vs age

迄今为止, 对于中国玄武岩、金伯利岩包体橄榄岩、石榴石二辉橄榄岩都缺少同位素年龄资料, 因此本次研究提供的石榴石二辉橄榄岩年龄资料, 尤其重要。在 ε_{Nd}—年龄图上, 本区石榴石二辉橄榄岩位于未亏损地幔 (undepleted mantle) 附近, 证明它基本代表了原

始地幔岩。

6 讨论

胶东—苏北一带的石榴石二辉橄榄岩与榴辉岩和橄榄岩类共生，呈较大规模岩块出现，表明它们之间的成因联系，被笔者确定为一种特殊的岩套和底辟成因^[1]。

胶东—苏北地区和大别山地区的榴辉岩—橄榄岩—石榴石二辉橄榄岩岩套，完全可以对比，因而无疑以该岩套为标志层，胶东—苏北和大别山变质岩区，原属于一个构造单元，只是后来被郯庐断裂割切，胶东—苏北变质岩区是大别山变质岩区的北向滑移部分。

胶东—苏北石榴石二辉橄榄岩基本为无亏损原始地幔岩。代表大别山—苏北—胶东地块原始地幔岩。该石榴石二辉橄榄岩表明的晚元古代古地温状况与玄武岩包体表明的古地温状况不同。可能的解释有二，二者属于不同构造单元，前者代表大陆（地盾）区上地幔岩，而后者为大陆活动边缘（具大洋特点）的上地幔岩；另一种解释是上地幔时代不同（可惜没有包体石榴石二辉橄榄岩的同位素年龄），上地幔地温梯度发生了变化。

由于该石榴石二辉橄榄岩基本代表原始上地幔岩，因而认为华南地块在晚元古代就形成了石榴石二辉橄榄岩的上地幔。

胶东—苏北（郯庐断裂以东）部分，原属于华南地块，郯庐断裂产生水平移动时间晚于晚元古代。

参 考 文 献

- 1 Bai Wenji. Diapir genesis of garnet lherzolite-clogite-peridotite complex in North China. In: Proceeding of symposium on diapirism with special reference to IRAN, 1990, (2): 252—253.
- 2 长迈克尔 I S E, 特纳 F J, 费尔福根 J. 火成岩石学. 从柏林译, 地质出版社, 1982, 441.
- 3 刘若新等. 中国几个地方的石榴石二辉橄榄岩捕虏体研究. 岩石学报, 1(4): 25—33.
- 4 Dawson J B. Kimberlites and their xenoliths. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1980, 129.
- 5 Nixon P H. Lesotho kimberlites. Lesotho National Development. Corporation. Printed by Cape and Transvaal printer ltd., Cape Town, 1973, 350.
- 6 Nixon P H, Rogers N W et al. Depleted and fertile mantle xenoliths from Southern African kimberlites. In: George W Wetherill et al. ed. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1981, 9: 285—310.
- 7 张儒媛等. 中国东南部新生代火山岩系及其超镁铁质包体. 见: 鄂莫岚, 赵大升主编中国东部新生代玄武岩及深源岩石包体. 北京: 科学出版社, 1987, 349—467, 479.
- 8 Kawasoki Toshisuke. Palaeogeotherms; olivine-orthopyroxene-garnet geothermometry and geobarometry. Lithos 1987, 20: 263—278.
- 9 Fan Qc et al. The mineral chemistry of ultramafic Xenoliths of eastern China; Implications for upper mantle composition and the palaeogeotherms. J. Petrol., 1989, 30: 1117—1158.
- 10 Jacobsen S B, Wasserburg G J. Sm-Nd isotopic evolution of chondrites and achondrites, II. Earth planet. Sci. Lett., 1984, 67: 137—150.

Formation Conditions and Age for Garnet Lherzolite from Eastern Shandong and Northern Jiangsu, China

Bai Wenji Hu Xufeng

(Institute of Geology, CAGS, Beijing, 100037)

Zhou Meifu

(Department of Geological Sciences, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada)

Key words: Garnet lherzolite; Eastern Shandong; Northern Jiangsu

Abstract

A zone of eclogite-garnet lherzolite-spinel lherzolite complex occurs in the Archean basement, running from the east seacoast in Shandong through northern Jiangsu into the Dabie Mountains for about 1200 km. The complex suite has a sequence consisting of garnet lherzolite, spinel lherzolite and dunite in the lower part, and eclogite and garnet pyroxenite in the upper part. The garnet lherzolite, spinel lherzolite and dunite are of interbedded layer.

Over 1000 of the complex blocks are exposed as boudins resulting from stretching and shearing, which have formed a specific 'melange' with their country rocks including gneiss, amphibolite and granulite.

The garnet lherzolite is similar in main chemical composition to the xenoliths from the basalts in eastern China, is characterized by a high content of MgO for the olivine, clinopyroxene, orthopyroxene and garnet.

The fresh garnet lherzolite has a total REE content of 2.41—14.23 ppm, and shows much the same REE patterns which are similar to those of pyrolyte.

The equilibrium temperatures and the pressures of the minerals range from 800 to 1371°C and from 35 to 49.8×10^8 Pa respectively. The paleo-geotherm is essentially coincident with the continental geotherm.

The age of the garnet lherzolite determined by Sm-Nd method is 925 ± 53 Ma.

The authors suggest that the garnet lherzolite represents essentially paleo-pyrolyte of South China.